



Webinar Túneles con TBM

Diseño, construcción, servicios y proyectos de ingeniería



CTES

COMITÉ DE TÚNELES Y
ESPACIOS SUBTERRÁNEOS
DE CHILE

26 de Agosto

“Experiencias en Diseño, Construcción y Estrategias de Licitación de Túneles Excavados en Suelo con TBM.”

Ignacio Álvarez Sánchez
Ingeniero de Minas
Geoconsult Group

CONTENIDO

- Introducción
- Tipos de Tuneladoras y Campo de Aplicación
- Criterios de Selección de la Máquina para Suelos
- Estrategias de Licitación – Manejo del Riesgo
- Caso Práctico: Túnel Emisario Arroyo Vega

INTRODUCCIÓN

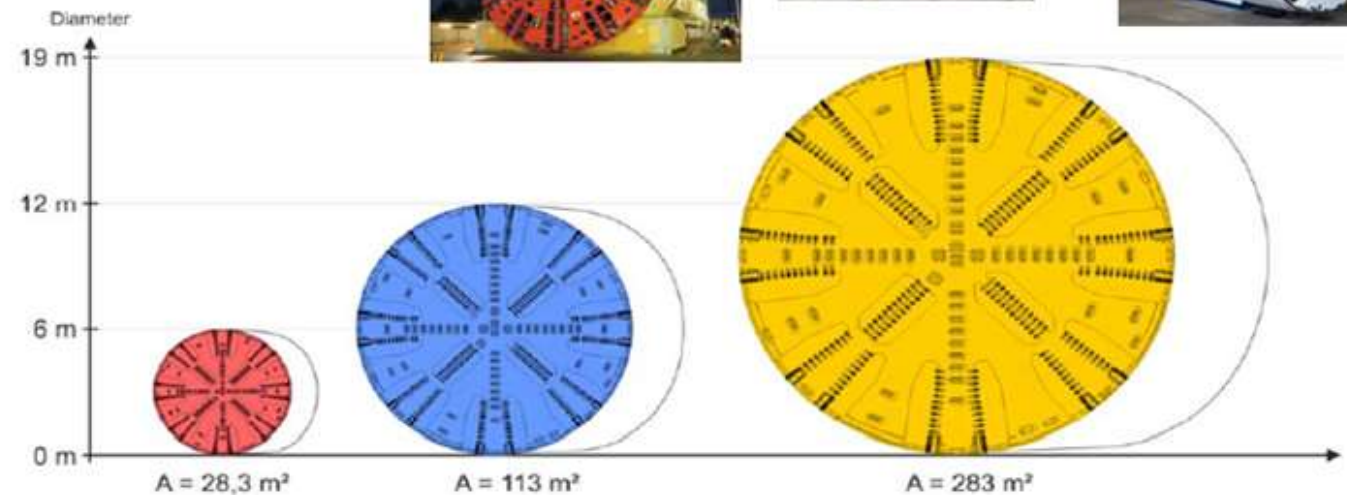
INTRODUCCIÓN

«Se entiende por máquina Tunneladora (T.B.M.) a una máquina integral que es capaz de excavar un túnel a plena sección a la vez que colaboran en la instalación de un sostenimiento preliminar o en la puesta en obra de revestimiento definitivo del Túnel.»

1825 – Primer intento con éxito en Reino Unido (En el Támesis)

1845 – Segundo intento exitoso Francia – Italia. (“Rebanadora de Montañas”)

1950 – Primera TBM fabricada por Robbins → mejoró el rendimiento hasta en 10 veces.



PRINCIPALES TIPOS DE TUNELADORAS

PRINCIPALES TIPOS DE TUNELADORAS

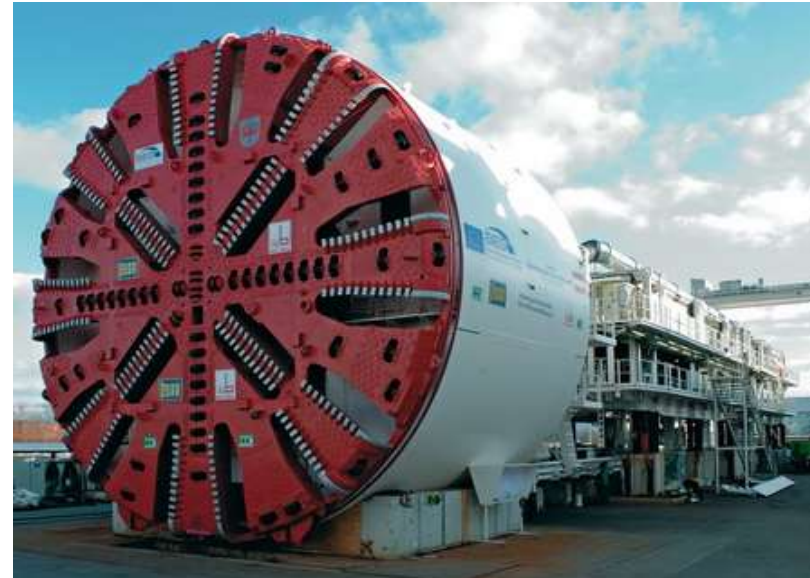
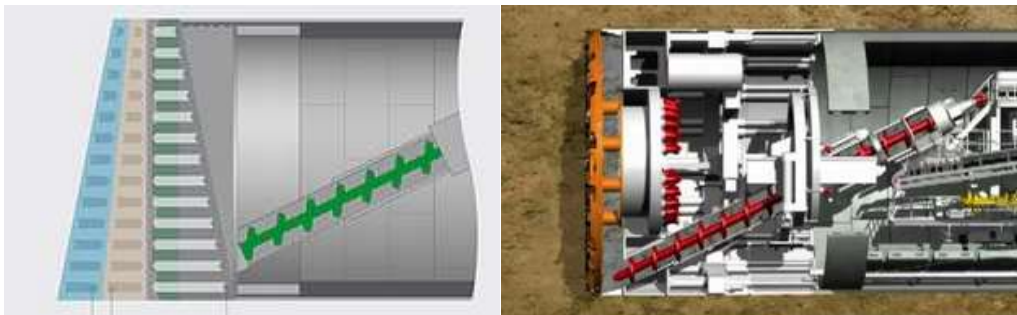


PRINCIPALES TIPOS DE TUNELADORAS

E.P.B.



La tecnología EPB estabiliza el frente de excavación con la contrapresión transmitida por parte de la tierra ya excavada, previamente acondicionada y mezclada en el mismo frente de la excavación en una cámara de presión, desde la cual se va evacuando por medio de un tornillo «sinfín», solo en la misma cantidad que se excava, manteniendo dentro de la cámara de tierra al frente un volumen prácticamente constante.



- Gatos de empuje
- Con soporte activo, Escudo
- Presión en el Frente
- Corte con Discos y Picas
- Sostenimiento con Dovelas
- Tornillo sin fin y cinta transportadora
- Suelos con un contenido en finos $\geq 30\%$, con agua y Frentes inestables

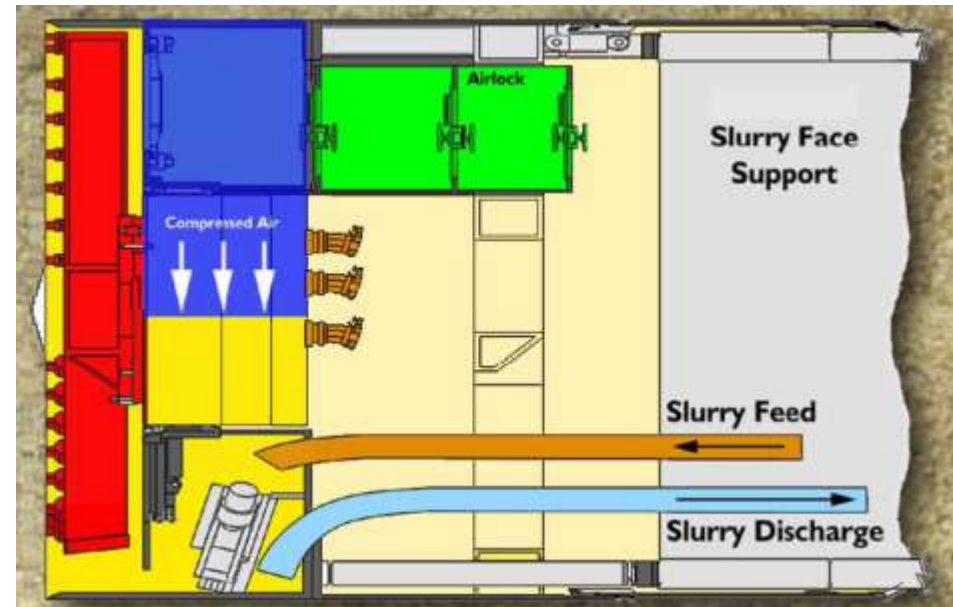
PRINCIPALES TIPOS DE TUNELADORAS

SLURRY

- Gatos de empuje.
- Con soporte activo, Escudo.
- Presión en el Frente con Lodos y Aire comprimido.
- Corte con Picas.
- Sostenimiento Dovelas.
- Tuberías y lodos bentoníticos.
- Suelos granulares.

- Grandes Presiones
- $R_{curv.} = 200 \text{ m}$
- Rend. Elevados 18 a 30 m/día

- Separación Lodo del material

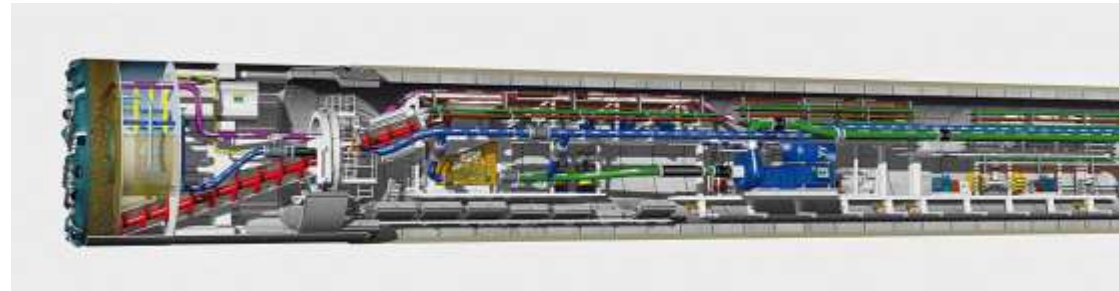
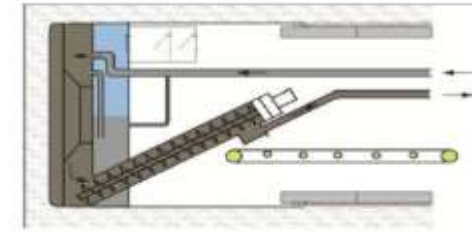
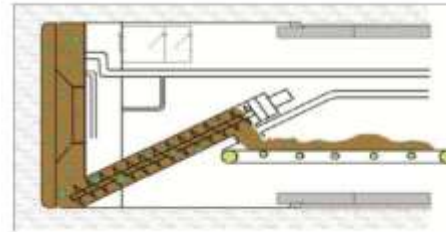


PRINCIPALES TIPOS DE TUNELADORAS

MULTIMODO (DENSIDAD VARIABLE)

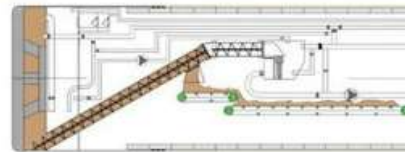
- Gatos de empuje
- Con soporte activo, Escudo
- Presión en el Frente como EPB o como Slurry
- Corte con Picas
- Sostenimiento Dovelas
- Tuberías y lodos bentoníticos o Tornillo sin Fin y cinta transportadora
- Suelos heterogéneos.

- Grandes Presiones
- $R_{\text{curv.}} = 250 \text{ m}$
- Rend. Elevados 18 a 30 m/día



MODUS 1

› EPB closed



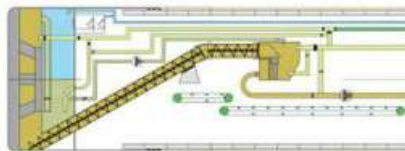
MODUS 2

› EPB closed with additional bentonite support



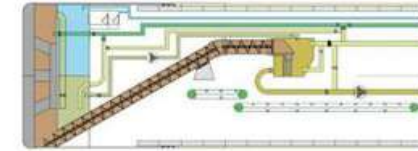
MODUS 3

› Mixshield mode with LDSM
(Low Density Support Medium)



MODUS 4

› Mixshield mode with HDSM
(High Density Support Medium)



SELECCIÓN DE LA MÁQUINA

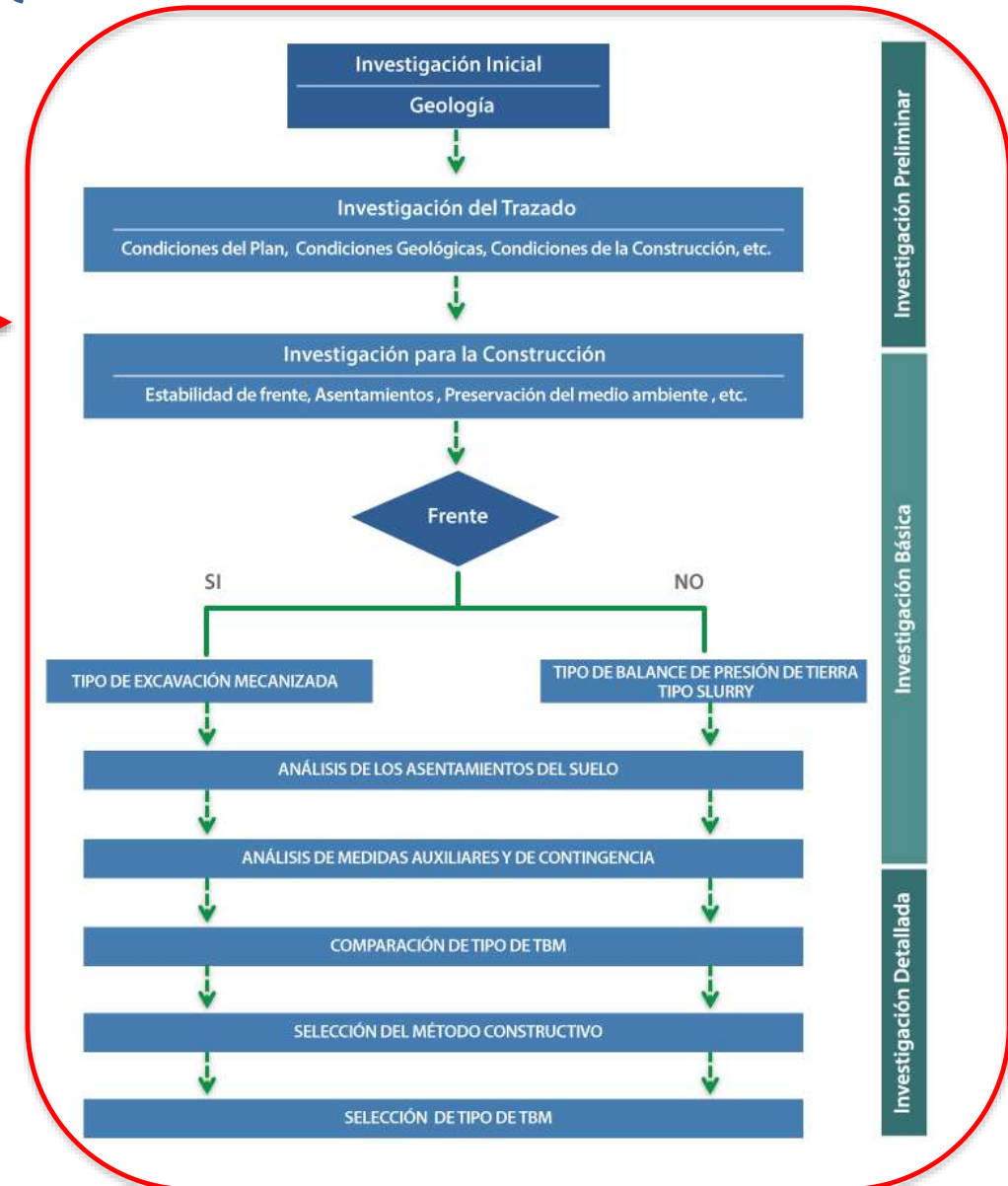
SELECCIÓN DE LA MÁQUINA

Criterios para realizar la selección de la Máquina

- **Técnicos** → Campo de aplicación.
- Criterios Sociales.
- Criterios Medioambientales.
- Criterios Económicos.

FACE SUPPORT	FULL FACE EXCAVATION	PARTIAL FACE EXCAVATION
None or passive	Open Hard Rock TBM or Main Beam TBM	Digger shield
	Single Shield Hard Rock TBM	Auger or road header
	Double Shield Hard Rock TBM	
Active	Earth-Pressure Balanced TBM (EPB-TBM)	Digger shield with compressed air
	Slurry-TBMs	Auger or road header with compressed air
	Compressed Air Shields	
Combination	Dual- or Multimode-TBMs, combining for example hard rock excavation with EPB- and/or Slurry mode.	

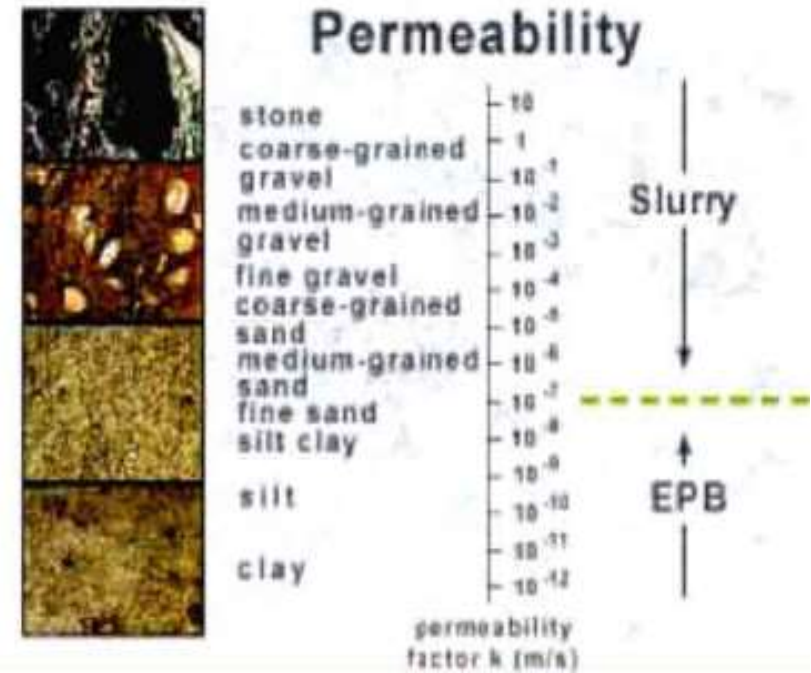
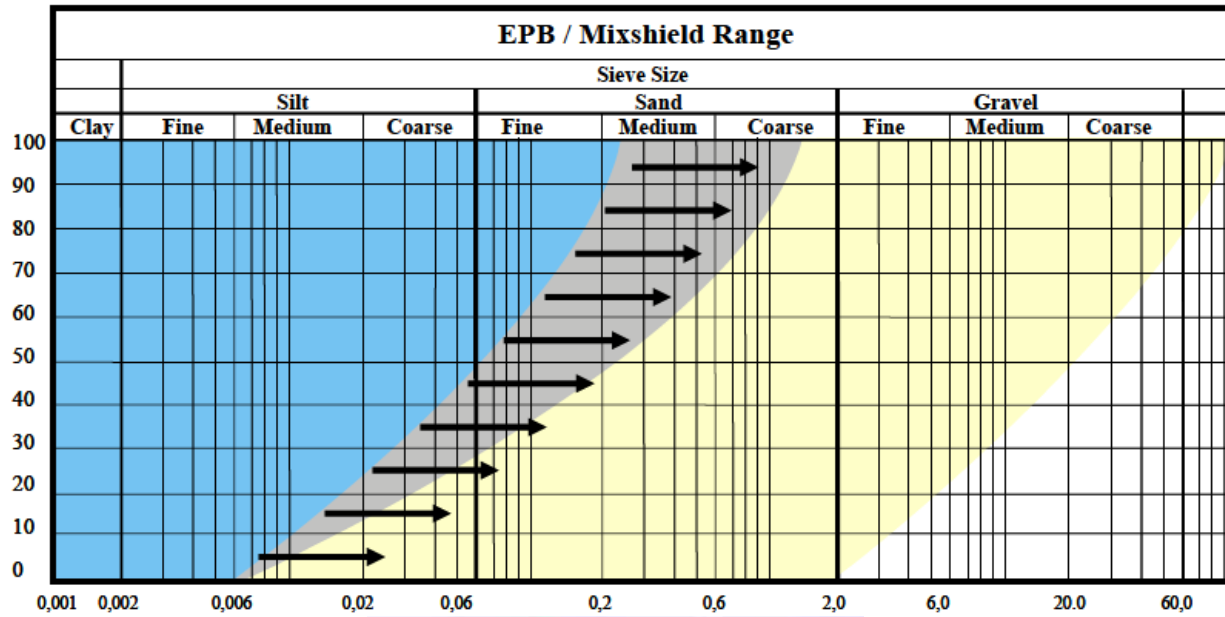
ITA: Recommendations on the development process for mined tunnels.



ITA: Recommendations on the development process for mined tunnels.

SELECCIÓN DE LA MÁQUINA

Campo de Aplicación



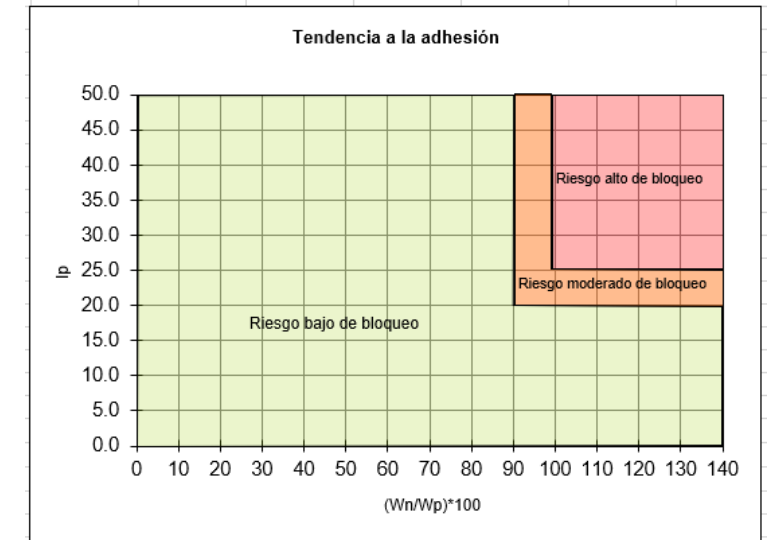
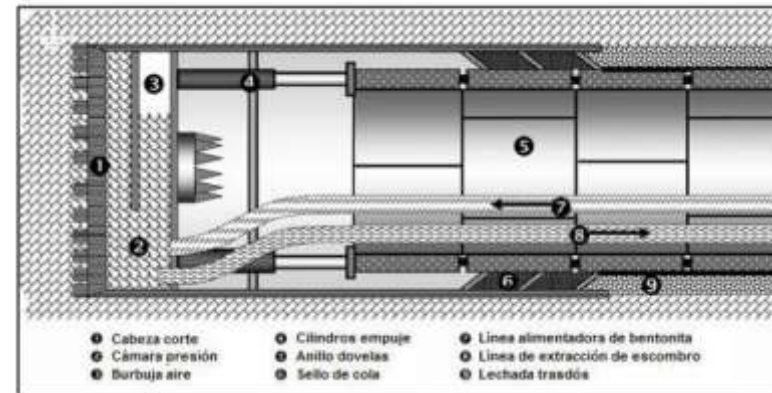
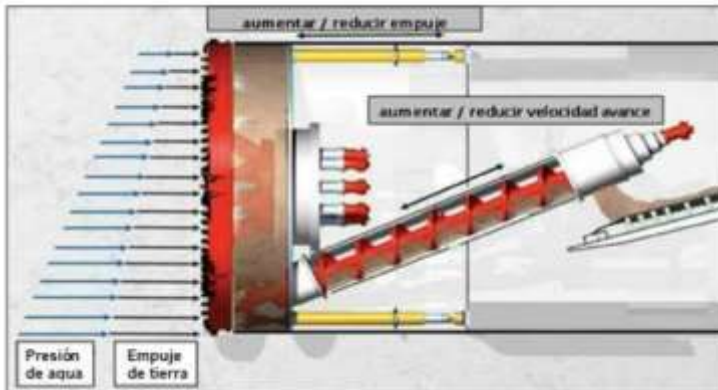
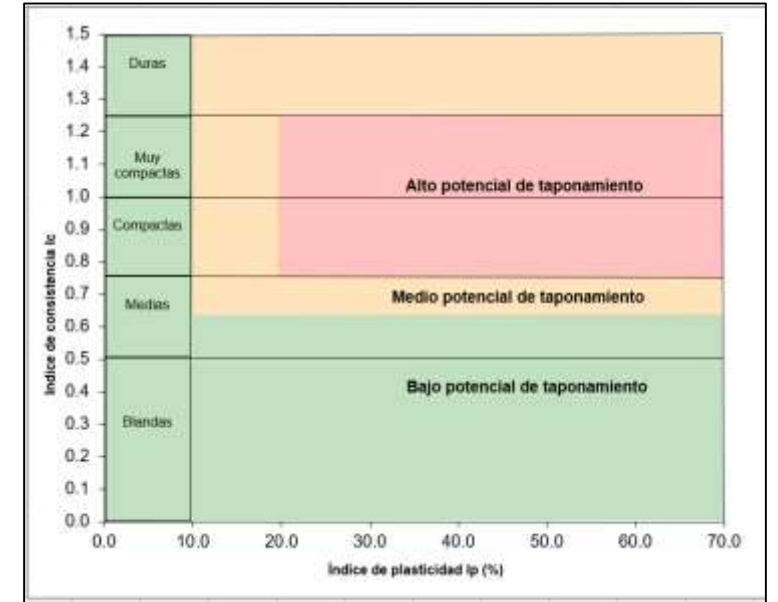
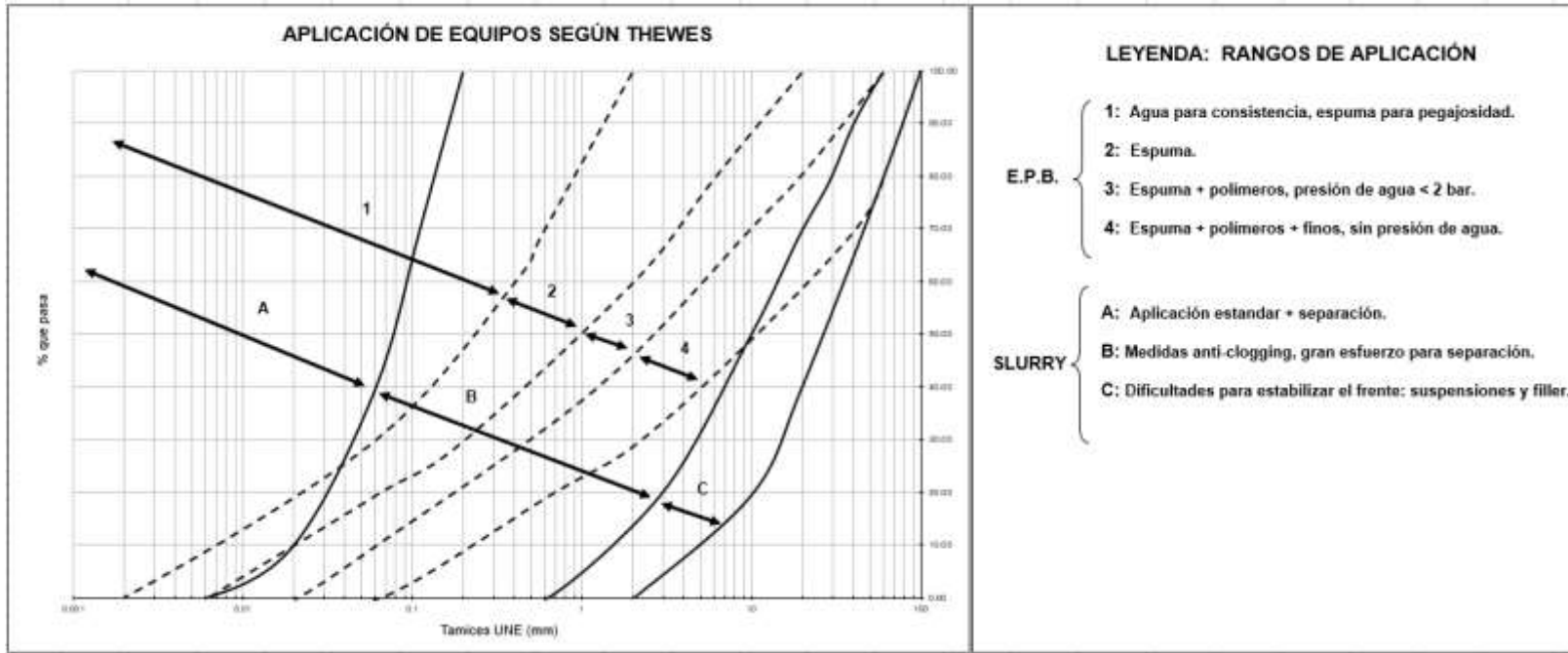
EPB Methods



Hydroshield Methods



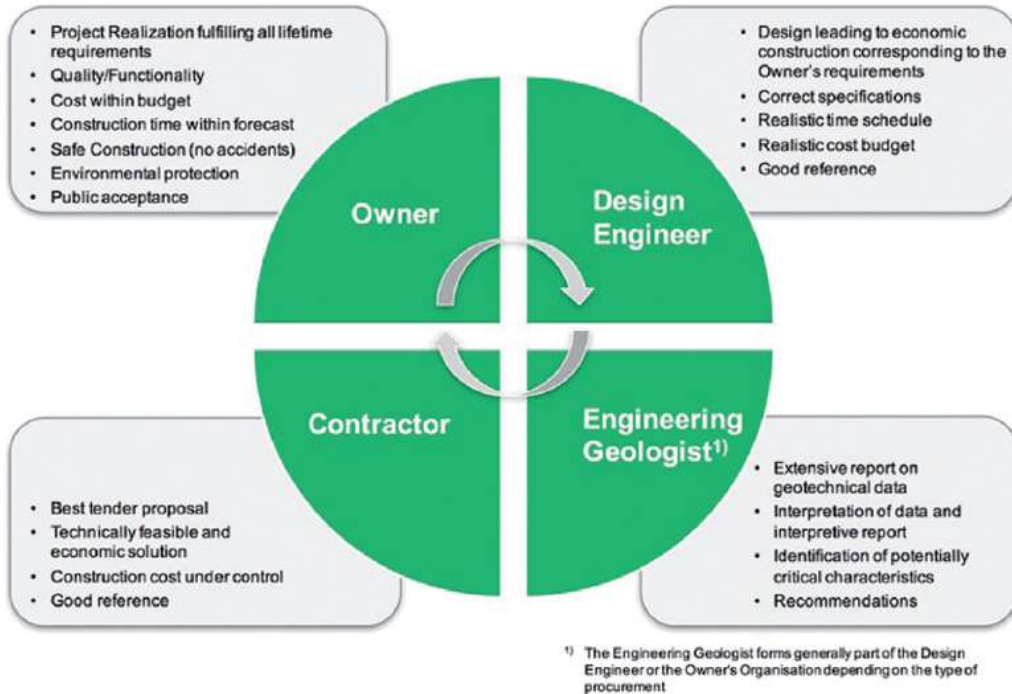
SELECCIÓN DE LA MÁQUINA



ESTRATEGIAS DE LICITACIÓN

ESTRATEGIAS DE LICITACIÓN

Recomendaciones recogidas en la ITA



ITA: Recommendations on the development process for mined tunnels.

GENERAL PROJECT DEVELOPMENT PHASES	CONSULTANT'S TASKS	GOAL
1. Project concept and definition	0- Analysis of the needs 1- Basic design criteria Environmental Process	Purpose of the projects Design criteria, corridors Environmental process, approvals and permitting, right of way acquisition
2. Design	2- Conceptual (basic) design 3- Preliminary design 4- Final (detailed) design ¹	General layout, feasibility Cross sections Detailed design, construction permit, third party approvals, interfacing design, coordination and project integration
3. Preparation of the construction (tender phase)	5- Tender documents 6- Tender process	Draft contract documents Most economic offer
4. Construction	7- Construction documents 8- Site Supervision	Execution of the work
5. Completion/ Commissioning	9- Documentation	As built documentation and collecting construction experiences

ITA: Recommendations on the development process for mined tunnels.

ESTRATEGIAS DE LICITACIÓN

Recomendaciones recogidas en la ITA

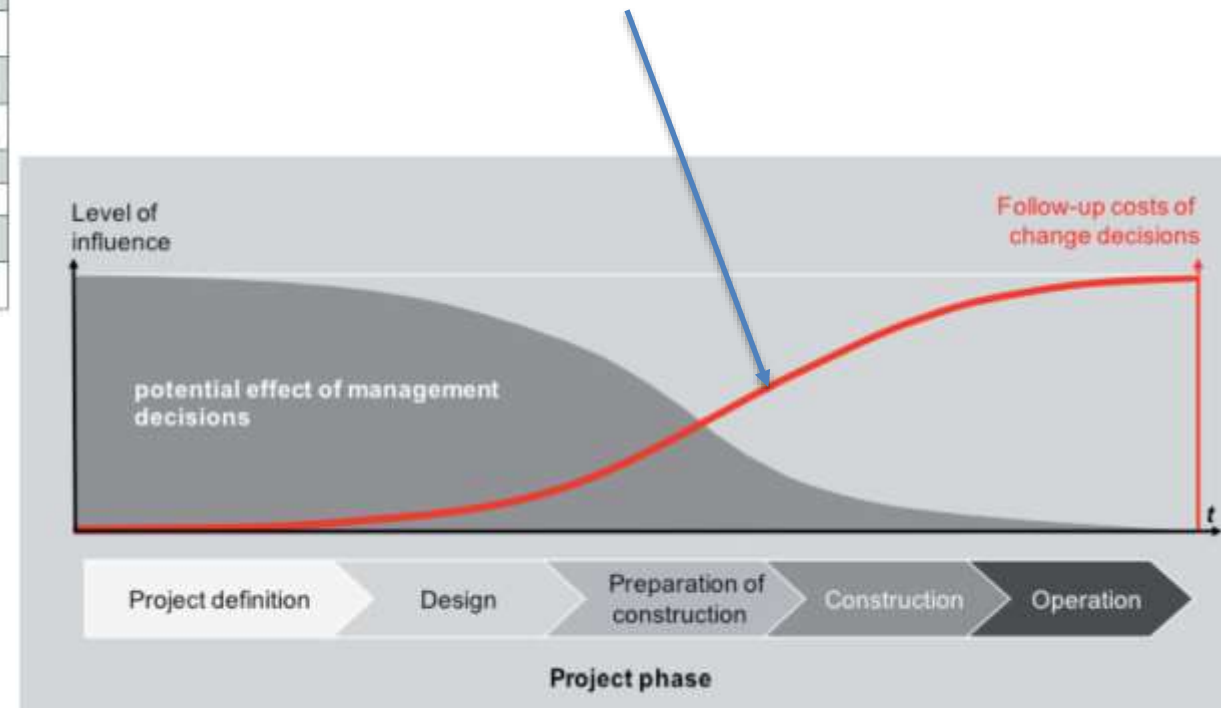
PROJECTS REQUIREMENTS	PROJECT DEFINITION PHASE	DESIGN PHASE		TENDER PHASE	CONSTRUCTION
Geology	set tunnel alignment	ground investigations	ground model	proving all geol. docs (GDR, GDSR, GBR)	monitoring, report and documentation
Logistics	analyse accessibility	develop logistic concept		transfer boundary conditions to future contractor	contractor's responsibility
Quality/functionality	requirements	quality level, general layout		definition of final quality/functionality	Owner : check of quality
Time Schedule	determine time restrictions	structured in detail		provide detailed time schedule	Owner : time management
Costs and financing	rough cost estimation	first cost calculation	financing secured	costs verification	Owner : cost control
Occupational health and safety		define level of work safety		requirements transferred to future contractor	Contractor : fulfill requirements
Environmental aspects	restrictions considered	define of protection		requirements transferred to future contractor	Contractor : fulfill requirements
Public acceptance	inform effected stakeholders	public discussion		include public relations	public outreach program
Market conditions	estimate capacity	check evisability		market force decides	
Experiences	lessons learned from former projects	experienced engineers, responsibilities		contractors experience	monitoring, report and documentation
Organisation and processes	established clear idea	construction permit		contract award	processes coordinated

ITA: Recommendations on the development process for mined tunnels.

Determinación de Costos → Elaborar Escenario Base

Programa de Trabajo → Fijar Los Hitos

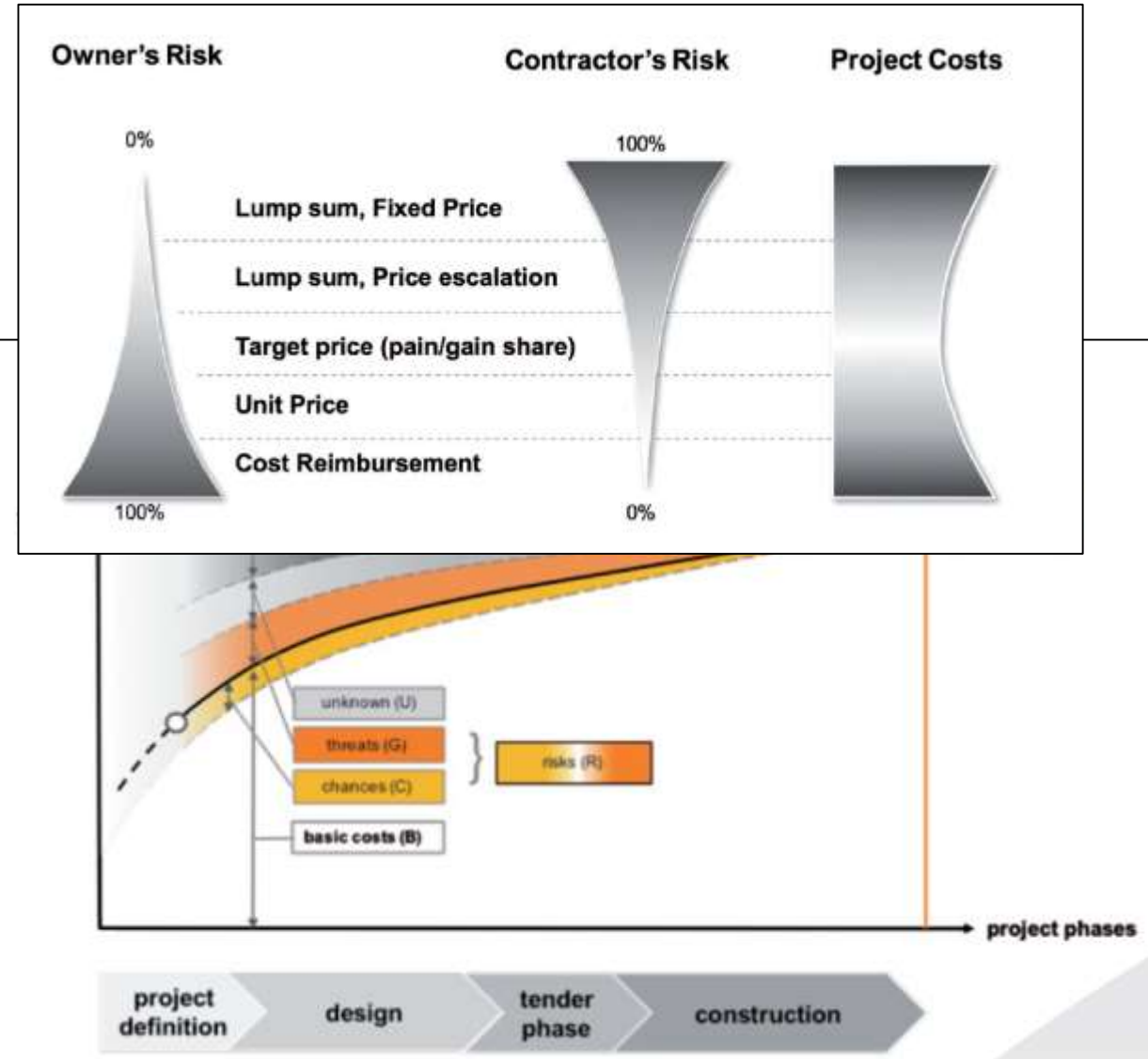
Cuanto más tarde en realizarse un cambio en el método de excavación, mayor será la influencia en los costos y plazos del proyecto.



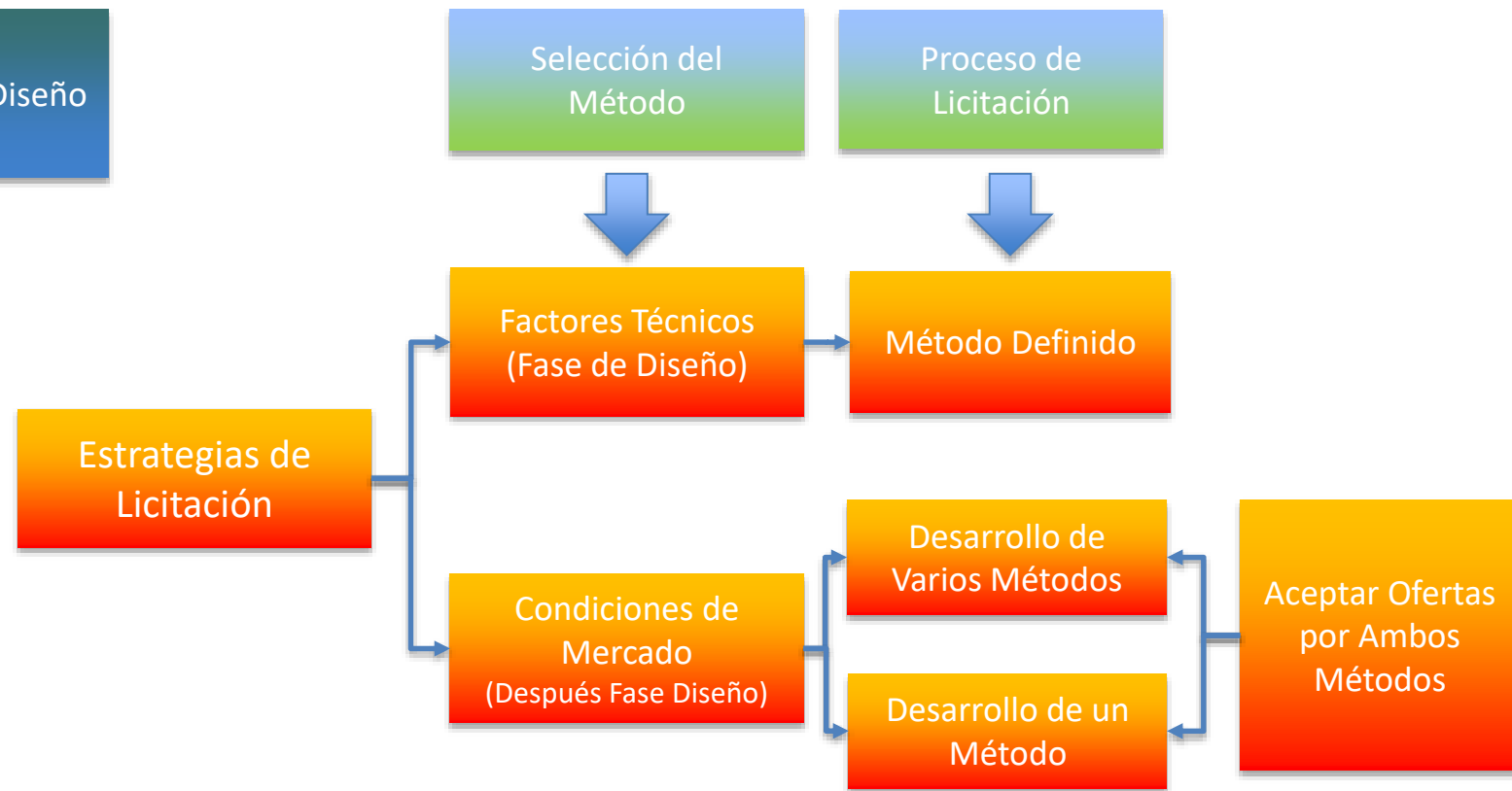
ITA: Recommendations on the development process for mined tunnels.

ESTRATEGIAS DE LICITACIÓN

Recomendaciones recogidas en la ITA



ESTRATEGIAS DE LICITACIÓN

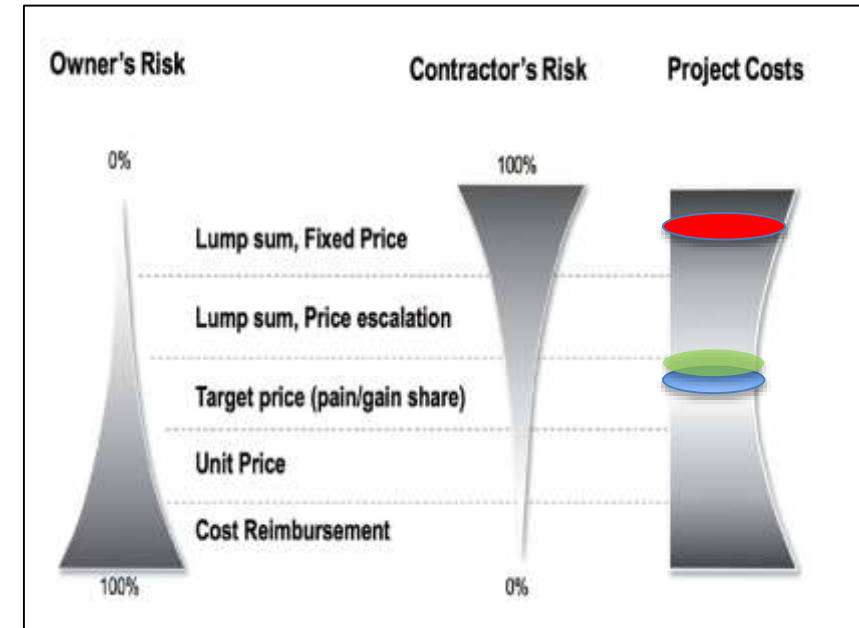


Se recomienda que, los documentos de licitación permitan desarrollar ofertas por varios métodos, siempre y cuando se presenten con el mismo nivel de detalle.

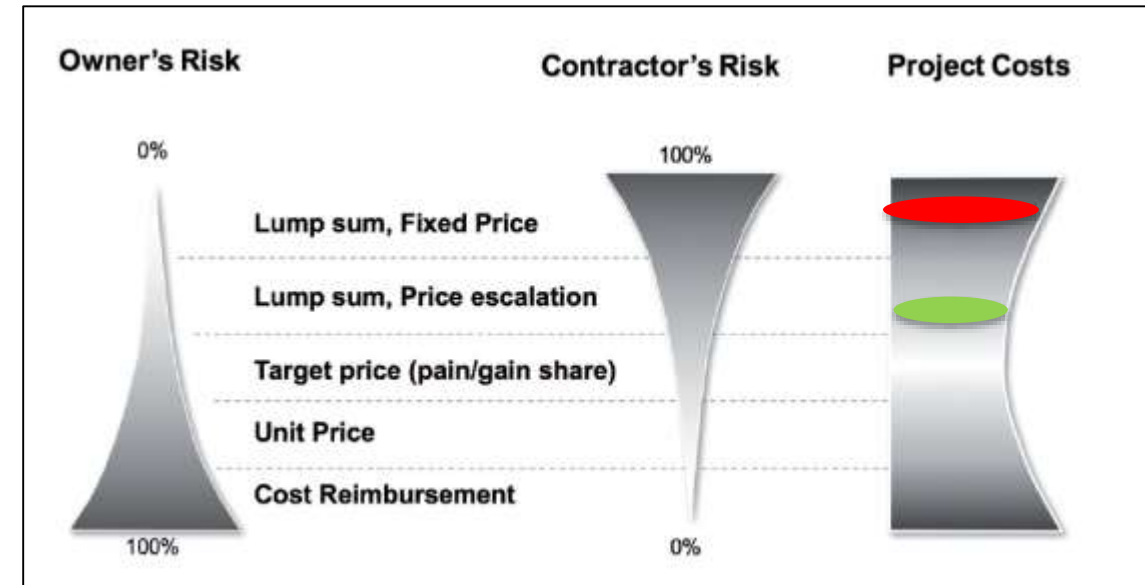
ESTRATEGIAS DE LICITACIÓN

ESTRATEGIAS DE LICITACIÓN INTERNACIONALES

Países	SINGAPOUR	INDIA	AUSTRIA
Estrategia de las Bases de licitación	El contratista define el método en base al mercado.	El Contratista elige el método y en las bases sólo se definen requerimientos funcionales.	El método definido en fase de diseño.
Reparto de los Riesgos asociados	Riesgos Identificados. Medianamente compartidos	Riesgos asumidos en su totalidad por el Contratista.	Riesgos Claramente Identificados y Cuantificados. Compartidos.



ESTRATEGIAS DE LICITACIÓN



TÚNEL TBM: PROYECTO SEGUNDO EMISARIO VEGA

TÚNEL TBM PROYECTO SEGUNDO EMISARIO VEGA

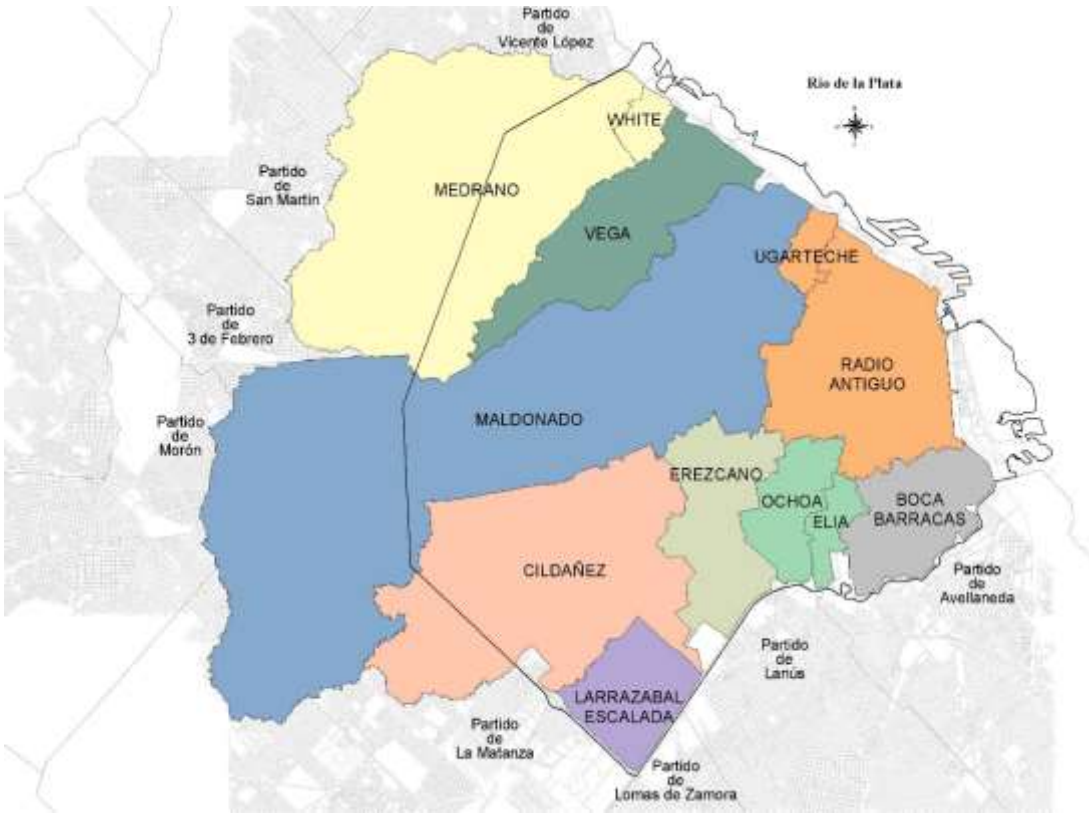
Mejora del desagüe Pluvial de la cuenca Arroyo Vega

Situado en Buenos Aires

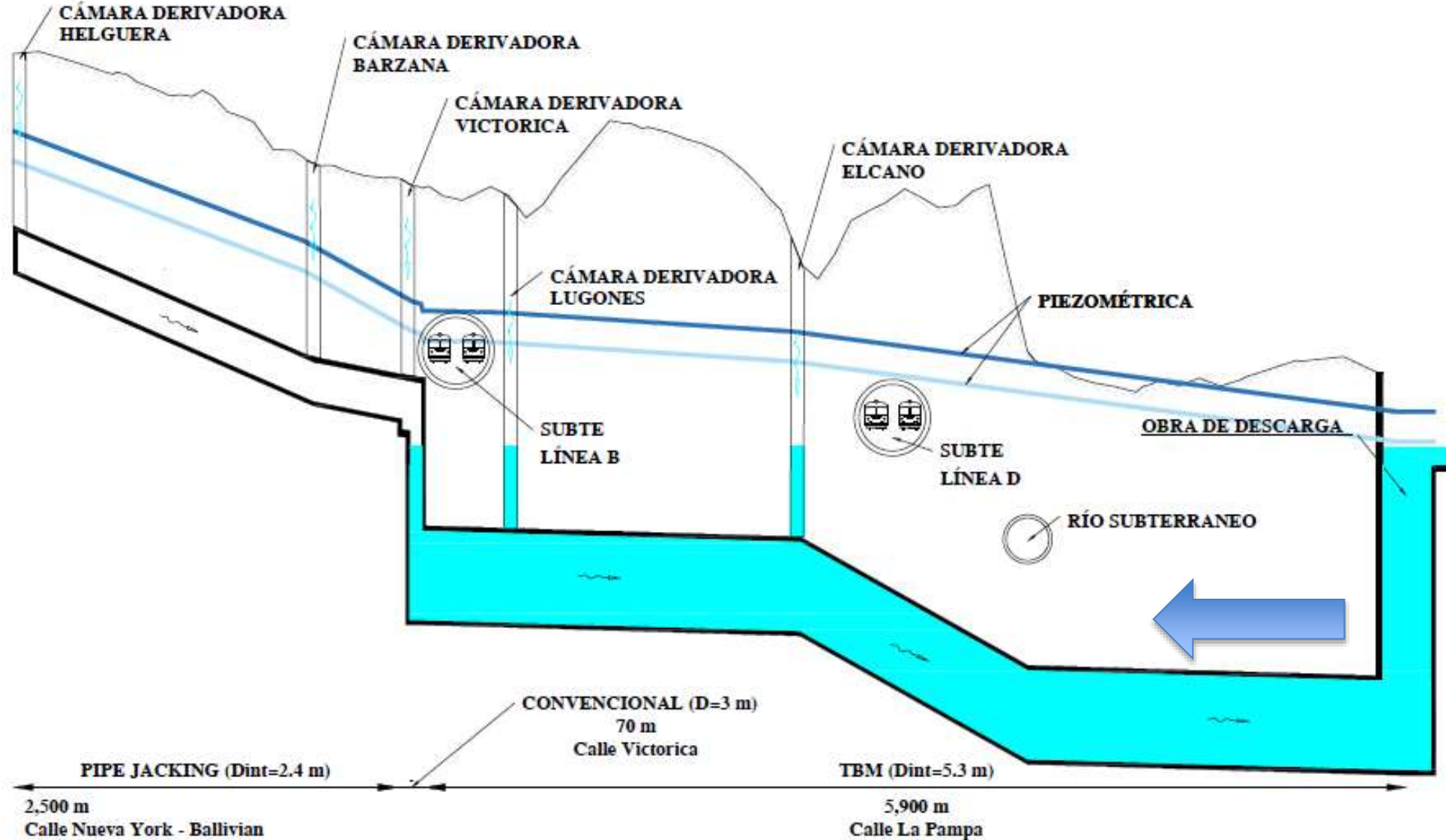
Básicamente 5 Cámaras de Entradas de agua (Piques)

2 Tramos de túnel => $\phi = 2,4 \text{ m}$ y $2,5 \text{ Km}$

$\phi = 5,4 \text{ m}$ y $5,9 \text{ Km}$

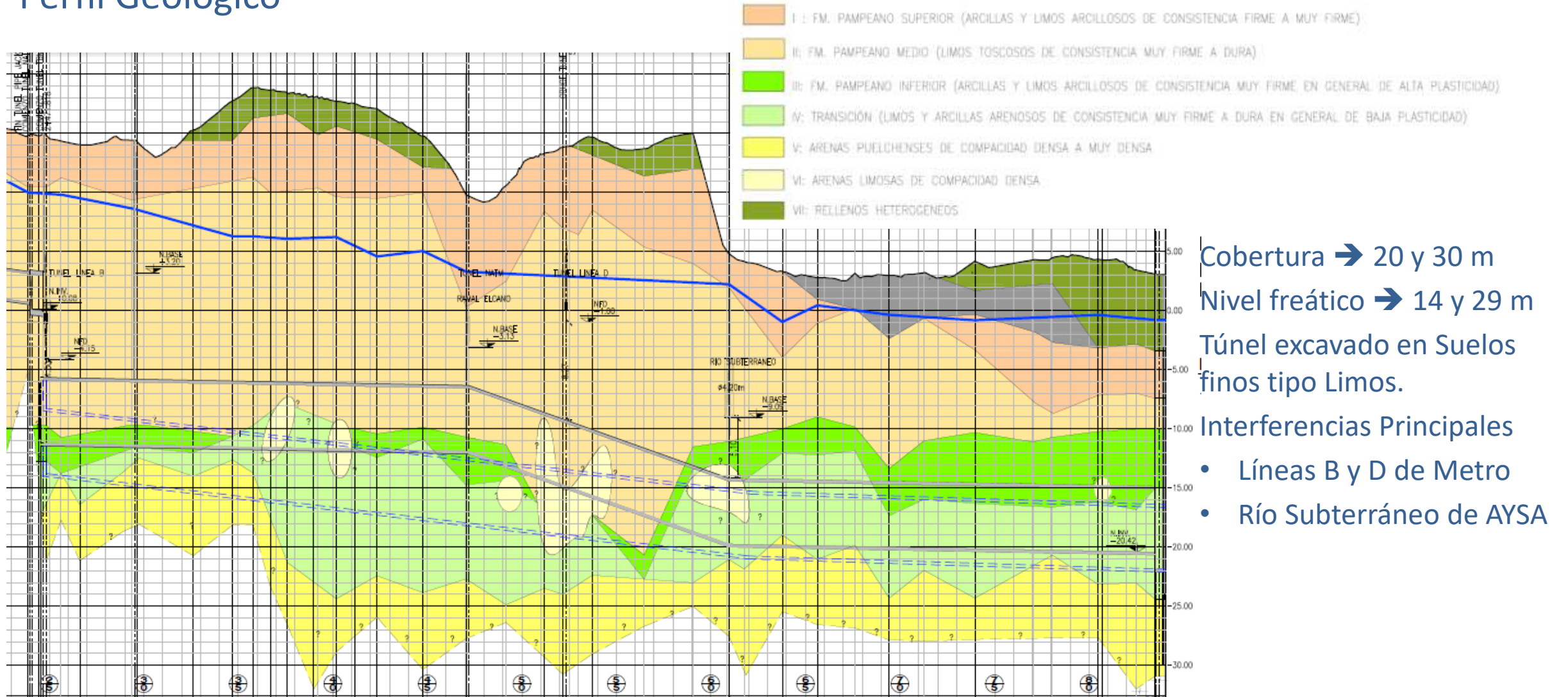


TÚNEL TBM PROYECTO SEGUNDO EMISARIO VEGA



TÚNEL TBM PROYECTO SEGUNDO EMISARIO VEGA

Perfil Geológico



TÚNEL TBM PROYECTO SEGUNDO EMISARIO VEGA

Características de la EPB

- Longitud del Escudo → 8200 mm.
- Diámetro Ext. del Escudo → 6070 mm.
- Diámetro Ext. de la cabeza corte → 6110 mm.
- Radio de Curvatura del escudo → 180 m.
- Longitud total del back up → 105 m. (7 carros)

Lanzamiento EPB

- Montaje → 3 meses
- Longitud del pozo de ataque → 35 m de diámetro
- Longitud mínima → 2 Carros + Escudo



TÚNEL TBM PROYECTO SEGUNDO EMISARIO VEGA

Anillo de dovelas Diseñado

Configuración: 6+0, Universal → Curvas de 235 m.

$\phi_{int/ext}$ → 5300/5800 mm e → 250 mm L_{med} = 1500 mm

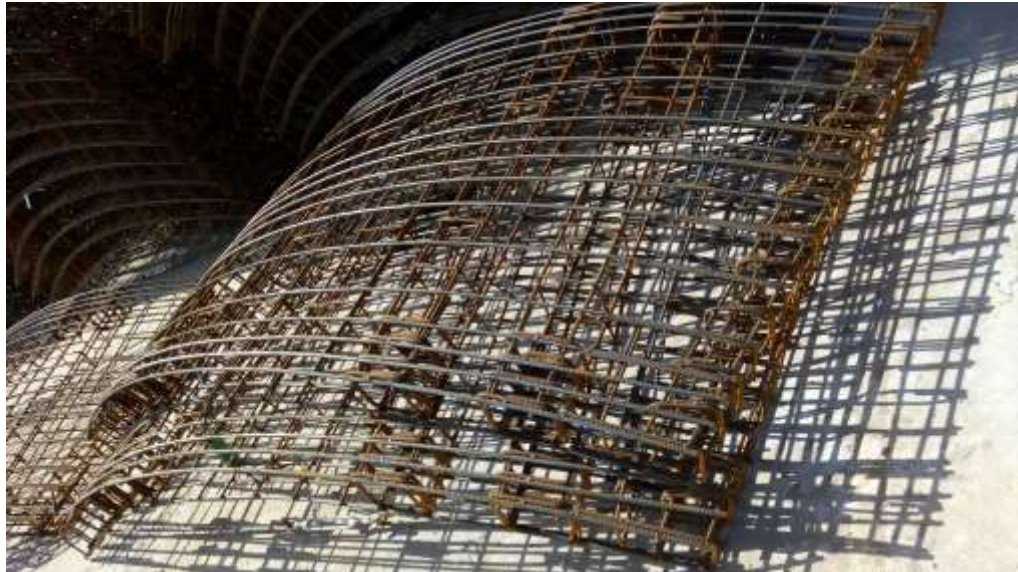
Juntas trapezoidales.

Sin pernos de unión → Acabado sin rugosidad.

Barra de Guiado, Biblock y Junta EPDM.

Hormigón G55.

Producción de 60 dovelas/turno.

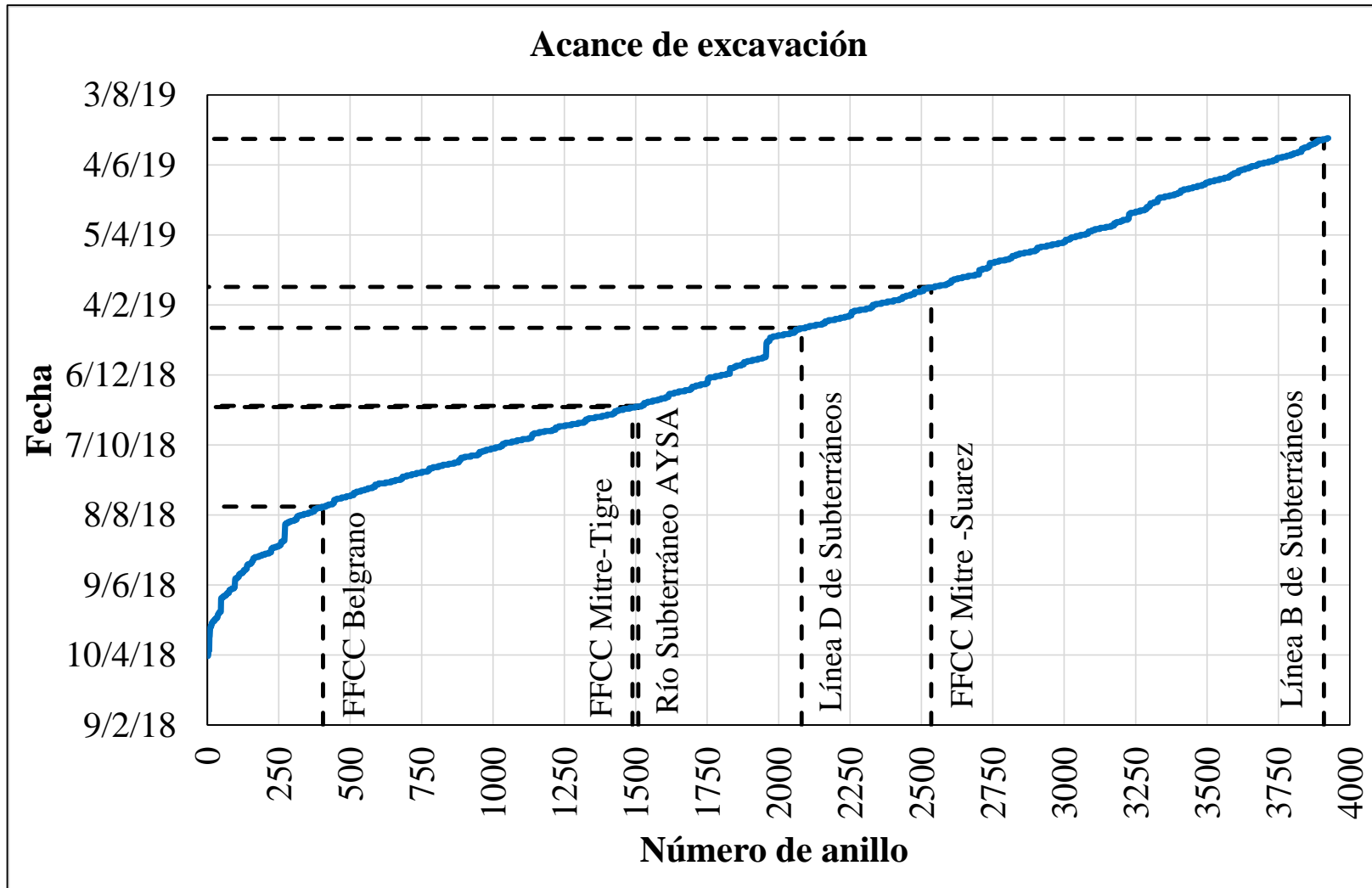


TÚNEL TBM PROYECTO SEGUNDO EMISARIO VEGA



TÚNEL TBM PROYECTO SEGUNDO EMISARIO VEGA

Rendimientos Obtenidos



Rendimientos obtenidos:

- Tasa: 12,7 anillos/día (20m/día aproximadamente)
- Factor de utilización: 35%
- Tiempo de avance: 20 a 25min
- Tiempo montaje: 25 a 30min

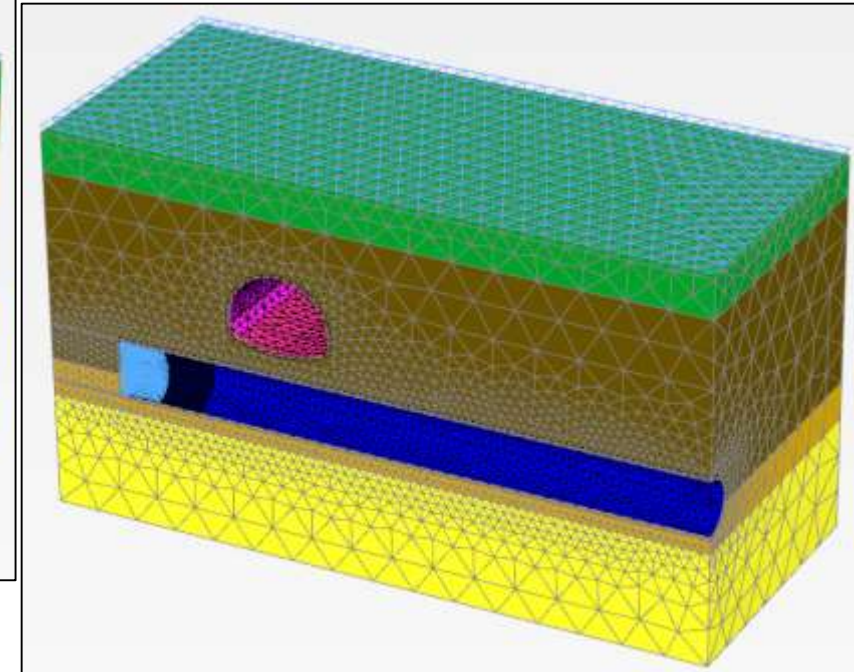
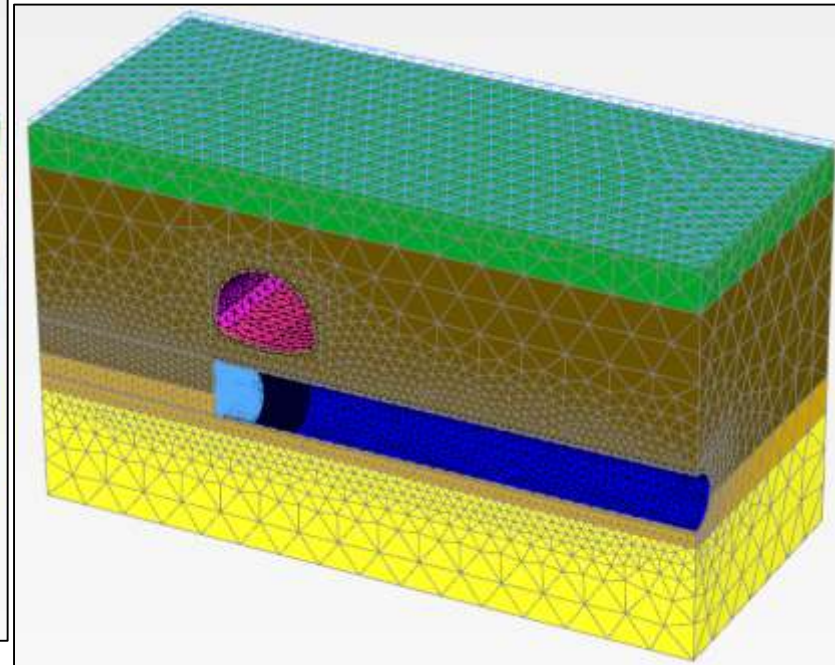
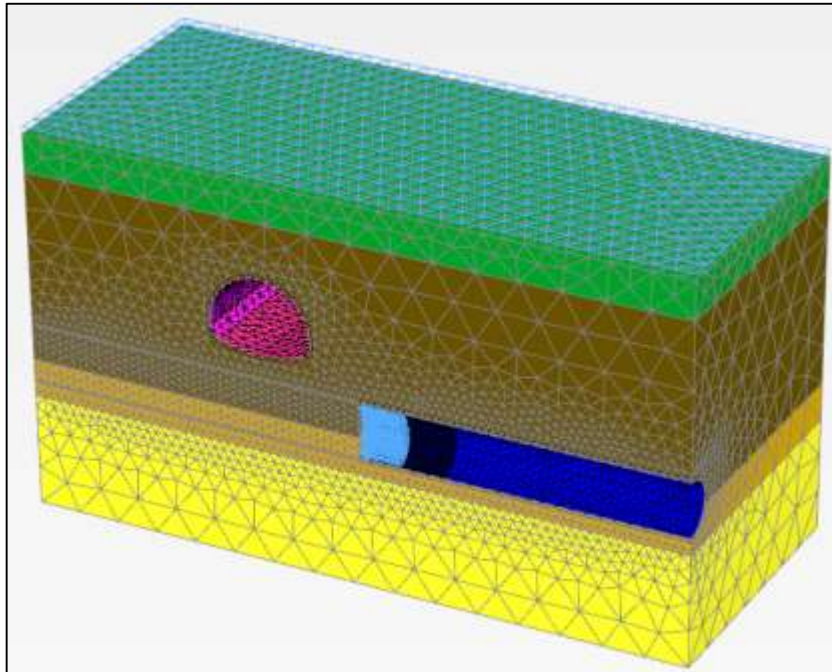


TÚNEL TBM PROYECTO SEGUNDO EMISARIO VEGA

Cruce bajo Línea B de Subterráneo

Modelación 3D de la secuencia completa de excavación

- Avance, instalación del anillo, inyección del espacio anular

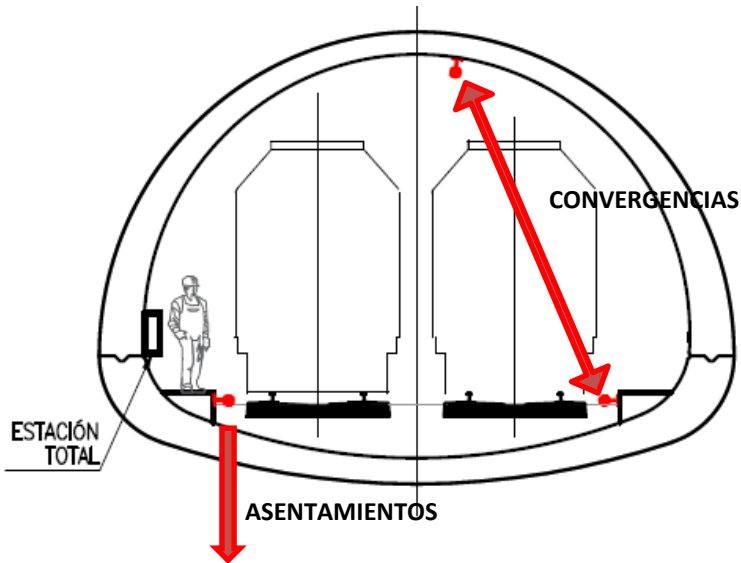
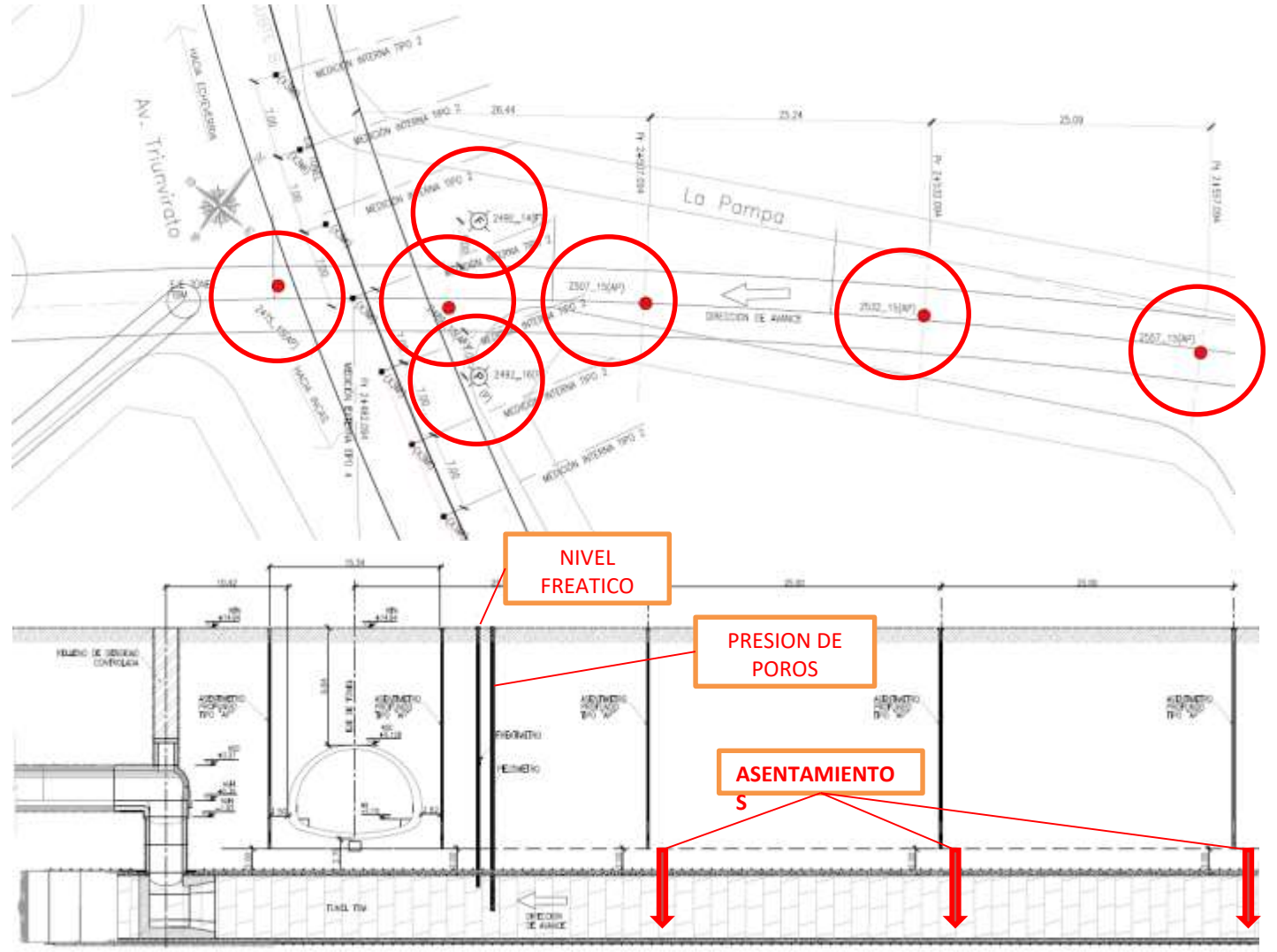


TÚNEL TBM PROYECTO SEGUNDO EMISARIO VEGA

Cruce bajo Línea B de Subterráneo

Instrumentación colocada

- Asentamientos profundos
- Freatímetro y piezómetro
- Prismas ópticos para convergencia
- Prismas ópticos para asentamiento
- Estación total automatizada

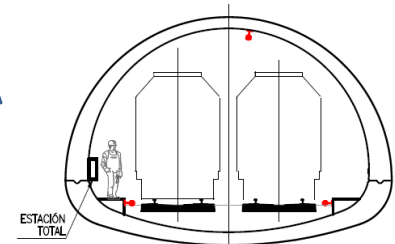
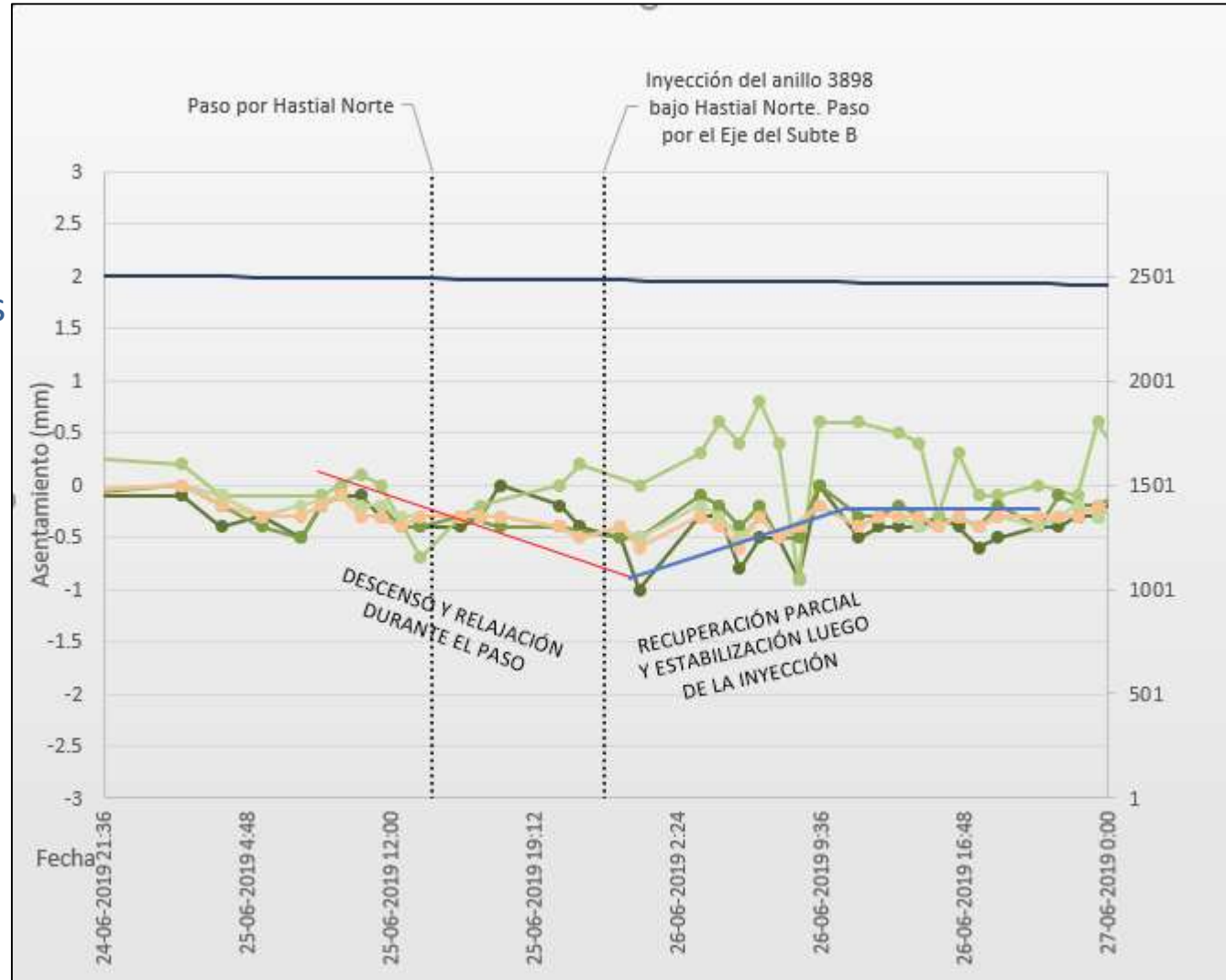


TÚNEL TBM PROYECTO SEGUNDO EMISARIO VEGA

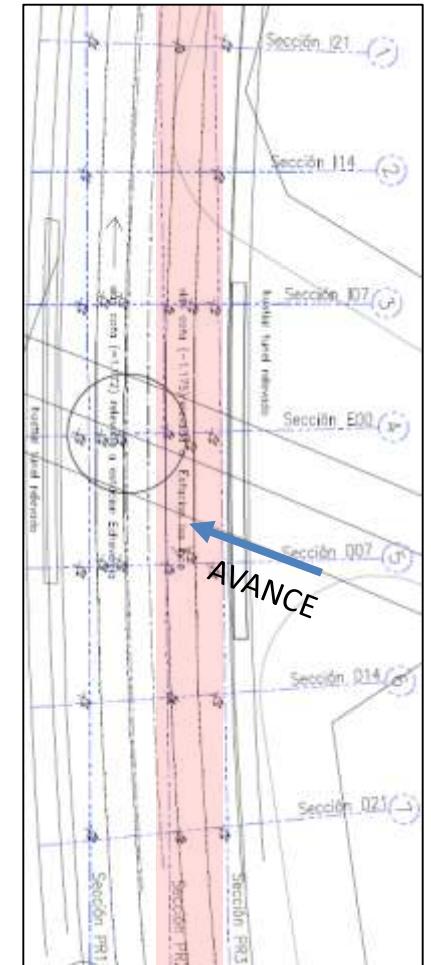
Cruce bajo Línea B de Subterráneo

Controles Realizados

- Asentamientos Absolutos
- Convergencias
- Presiones de Inyección
- Volúmenes de Inyección

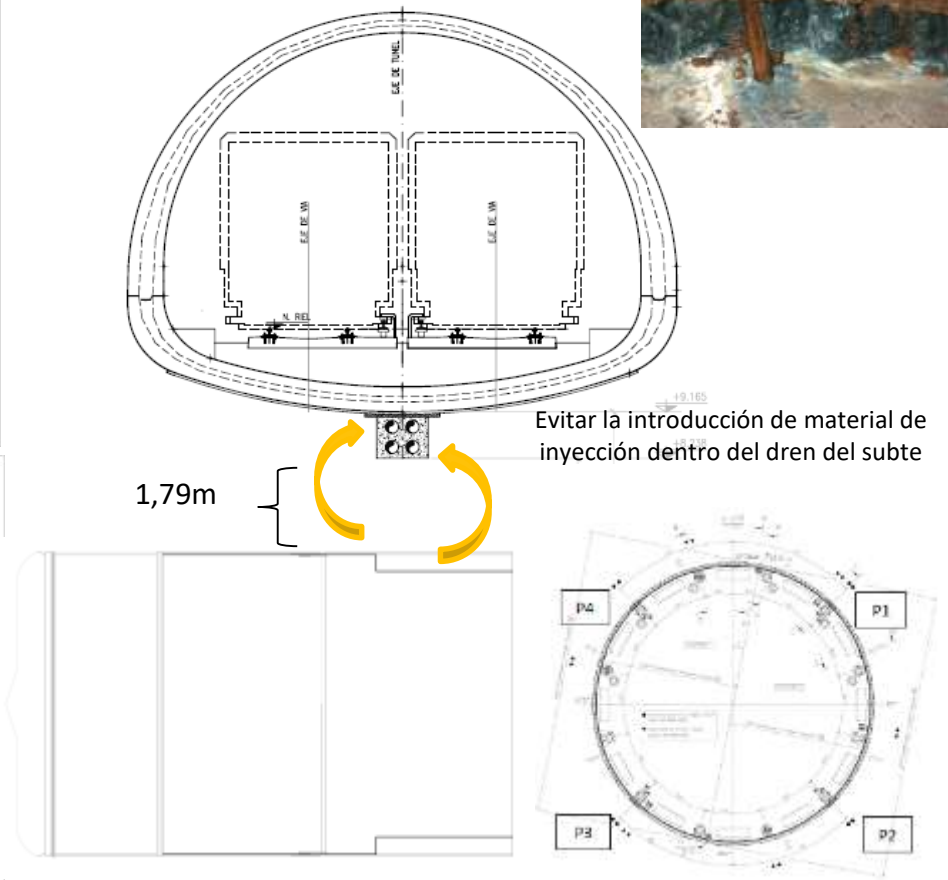
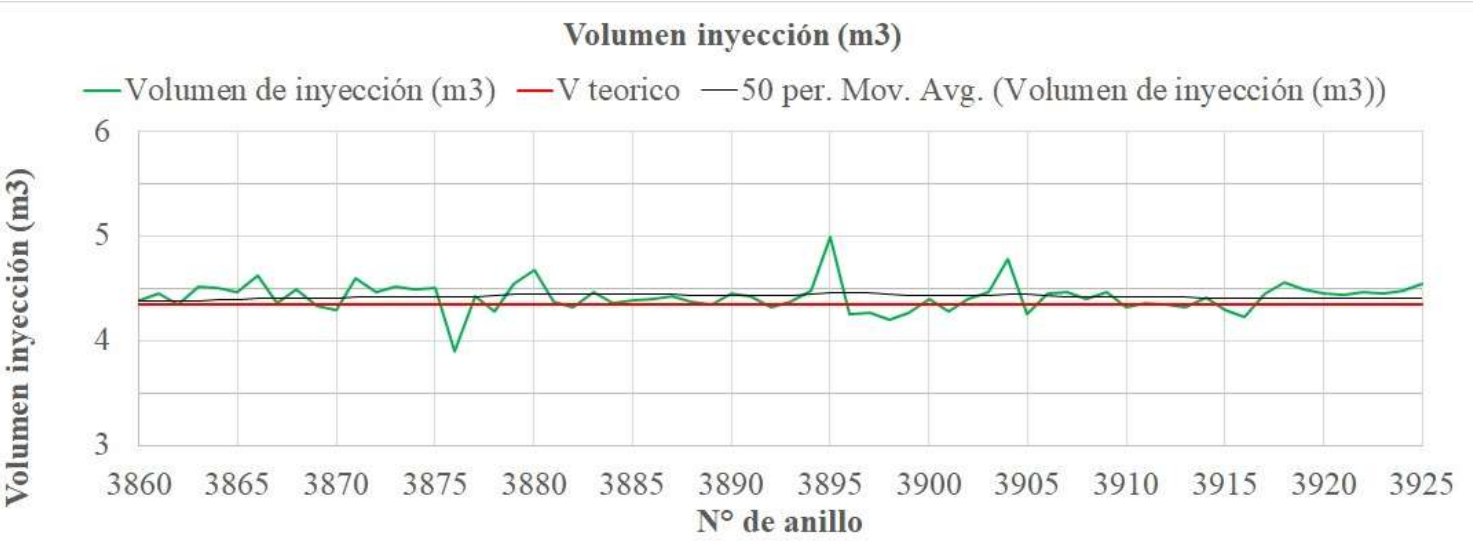
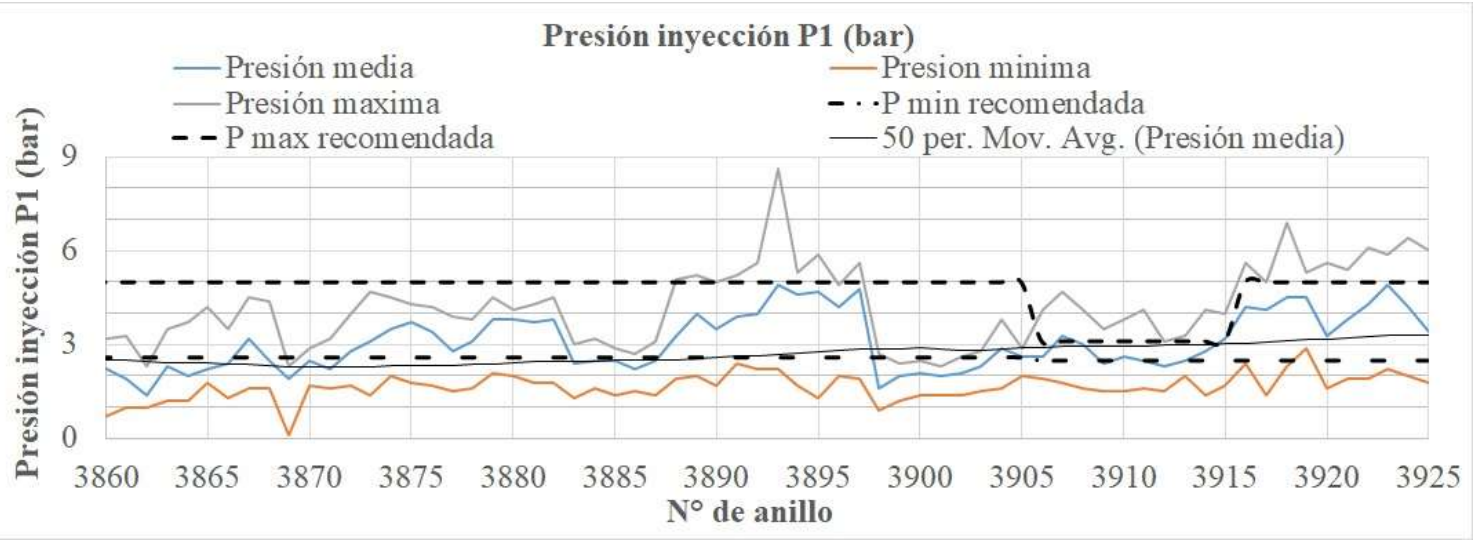


← PR3



TÚNEL TBM PROYECTO SEGUNDO EMISARIO VEGA

Cruce bajo Línea B de Subterráneo



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

La selección del método de excavación es un proceso multidisciplinario que depende de numerosos factores y además es una decisión muy importante para el desarrollo del proyecto.

Los documentos de licitación deberían contener la información suficiente para que los oferentes puedan elaborar propuestas en las cuales estén contabilizados todos los riesgos asociados a la consecución del proyecto que son de su responsabilidad.

En los documentos de licitación, entre otros aspectos, es muy importante la definición de los Hitos, siendo esto responsabilidad del mandante.

La forma de reparto de los riesgos asociados al proyecto deberían estar claramente definidos en los documentos de licitación, particularmente los roles y responsabilidades de cada parte, lo que permite una adecuada asignación de responsabilidades.



CTES

COMITÉ DE TÚNELES Y
ESPACIOS SUBTERRÁNEOS
DE CHILE

GEOCONSULT GROUP
Ignacio Álvarez Sánchez
Ingeniero de Minas
ignacio.alvarez@geoconsult.cl